

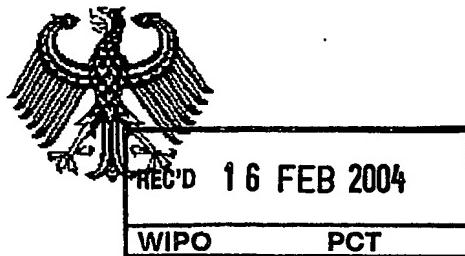
F 10 / 541311
30.01.2004

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

30.01.2004

05 JUL 2005

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 00 298.7
Anmeldetag: 02. Januar 2003
Anmelder/Inhaber: DaimlerChrysler AG,
Stuttgart/DE
Bezeichnung: Abgasnachbehandlungseinrichtung und
-verfahren
IPC: F 01 N 3/08

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 09. Januar 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Hoiß

DaimlerChrysler AG

Herr Boegner IPM/S EW/wi

Abgasnachbehandlungseinrichtung und -verfahren

Die Erfindung bezieht sich auf eine Abgasnachbehandlungseinrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie auf ein mit einer solchen Einrichtung durchführbares Abgasnachbehandlungsverfahren. Derartige Einrichtungen und Verfahren werden insbesondere zur Abgasnachbehandlung bzw. Abgasreinigung bei vorwiegend mager betriebenen Brennkraftmaschinen in Kraftfahrzeugen eingesetzt.

Der Einsatz von Stickoxidspeicherkatalysatoren, auch als NO_x-Speicherkatalysatoren oder NO_x-Adsorberkatalysatoren bzw. abgekürzt als NSK bezeichnet, ist zur nachmotorischen Stickoxidminderung bei mager betriebenen Brennkraftmaschinen allgemein bekannt. Magerbetriebsphasen der Brennkraftmaschine entsprechen Adsorptionsphasen des Stickoxidspeicherkatalysators, in welchen er Stickstoffmonoxid (NO) in Stickstoffdioxid (NO₂) oxidiert und als Nitrate zwischenspeichert. Während kurzzeitiger, periodischer Regenerations- bzw. Desorptionsphasen wird der Stickoxidspeicherkatalysator von den eingespeicherten Nitraten befreit, indem diese zu Stickstoffdioxid und anschließend Stickstoffmonoxid umgewandelt werden. Letzteres wird dann durch geeignete Reduktionsmittel zu Stickstoff reduziert.

Eine bekannte Technik der Bereitstellung der erforderlichen Reduktionsmittel besteht darin, die vorwiegend mager betriebene Verbrennungseinrichtung, deren Abgas nachbehandelt wird, kurzzeitig auf Fettbetrieb umzustellen, wodurch im Abgas als

Reduktionsmittel Wasserstoff (H_2), Kohlenmonoxid (CO) und unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC) vorliegen. Hierzu sind bereits verschiedene spezifische Maßnahmen zur Steuerung des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses, auch kurz als Luftverhältnis λ bezeichnet, vorgeschlagen worden, siehe z.B. die Offenlegungsschriften EP 0 560 991 A1 und DE 196 26 835 A1. Die Stickoxidreduktion kann auch in einem nachgeschalteten, sogenannten DENOX-Katalysator erfolgen, und zur Bereitstellung der Reduktionsmittel kann auch eine nachmotorische Zudosierung von Kohlenwasserstoffen vorgesehen sein, siehe z.B. die Offenlegungsschriften EP 0 540 280 A1 und EP 0 573 672 A1.

Bei diesem abwechselnden Adsorptions-/Desorptionsbetrieb sind einige Problempunkte zu beachten. So können abhängig von der Katalysatortemperatur, der Abgaszusammensetzung und der Materialzusammensetzung des Stickoxidspeicherkatalysators in der Regenerationsphase erhebliche Mengen des Schadgases Ammoniak (NH_3) durch Reaktion von Wasserstoff mit Stickstoffmonoxid und/oder Stickstoffdioxid entstehen. Beim Übergang von magerer auf fette Abgasatmosphäre besteht die Gefahr eines unerwünschten Stickoxid-Durchbruchs aufgrund schlagartiger Nitratzersetzung, wenn nicht ausreichend rasch Reduktionsmittel in entsprechender Menge bereitgestellt wird. Beim Übergang von fetter auf magere Abgasatmosphäre kann durch exotherme Verbrennungsreaktionen eine Erwärmung des Stickoxidspeicher-katalysators mit der Folge auftreten, dass bereits gebildete Nitrate wieder zersetzt und vorübergehend nicht mehr eingespeichert werden können, was einen unerwünschten Stickoxid-Schlupf verursachen kann. Eine effiziente Stickoxidminderung ist mit dieser NO_x -Speicherkatalysatortechnik auf einen relativ schmalen Temperaturbereich etwa zwischen 200°C und 400°C begrenzt, da bei geringerer Temperatur die Oxidation von NO zu NO_2 gehemmt ist und bei höherer Temperatur die gebildeten Nitrate nicht mehr stabil in signifikanter Menge gespeichert

werden können und sich das thermodynamische Gleichgewicht zwischen NO und NO₂ zunehmend auf die Seite des Stickstoffmonoxids verschiebt.

Ein weiterer Problempunkt ist bei Verwendung schwefelhaltiger Kraftstoffe die sogenannte Schwefelvergiftung des NO_x-Speicherkatalysators durch Einspeichern von Sulfaten, die gegenüber den Nitraten stabiler sind und sich in den NO_x-Regenerationsphasen nicht zersetzen. Zur Sulfatentfernung werden daher von Zeit zu Zeit spezielle Desulfatisierungsphasen bei erhöhter Abgastemperatur und fetter Abgaszusammensetzung durchgeführt, siehe z.B. die Offenlegungsschrift DE 198 27 195 A1. Bei der Desulfatisierung kann das Schadgas Schwefelwasserstoff (H₂S) entstehen, dessen Emission vermieden werden sollte. Dazu wird z.B. in der Patentschrift DE 100 25 044 C1 eine Zufuhr von Sekundärluft in den Abgasstrang während der Desulfatisierungsphasen vorgeschlagen, um den Schwefelwasserstoff in einem nachgeschalteten Oxidationskatalysator zu oxidieren.

Ein weiteres bekanntes Abgasnachbehandlungsverfahren ist das sogenannte selektive katalytische Reduktionsverfahren, abgekürzt als SCR-Verfahren bezeichnet. Hierbei wird dem Abgas zwecks Stickoxidreduktion ein selektiv wirkendes Reduktionsmittel zugegeben, typischerweise Ammoniak. Der Ammoniak wird in einem entsprechenden Denitrierungskatalysator, abgekürzt als SCR-Katalysator bezeichnet, zwischengespeichert und von diesem dazu verwendet, im Abgas enthaltene Stickoxide (NO_x) katalytisch unter Bildung von Stickstoff und Wasser zu reduzieren. Die Effektivität von SCR-Katalysatoren ist bei niedrigeren Temperaturen stark vom Verhältnis NO/NO₂ abhängig, mit einem Effektivitätsmaximum bei einem NO₂-Anteil von ca. 50% für Temperaturen unterhalb von 200°C und deutlich reduzierter Effektivität bei geringerem NO₂-Anteil. Bei höheren

Temperaturen oberhalb von ca. 400°C wird die Stickoxidreduktion durch Oxidation von Ammoniak limitiert, außerdem nimmt mit zunehmender Temperatur die Ammoniak-Speicherkapazität des SCR-Katalysators ab. Insgesamt ergibt sich für solche SCR-Systeme ein taugliches Temperaturfenster zur effizienten Stickoxidminderung von etwa 250°C bis etwa 550°C. SCR-Katalysatoren unterliegen einer thermischen Alterung und sollten nicht mit Temperaturen über ca. 700°C bis 750°C belastet werden. SCR-Katalysatoren können bei niedrigen Temperaturen auch unverbrannte Kohlenwasserstoffe zwischenspeichern und auch bei fetter Abgaszusammensetzung bei entsprechender Auslegung Kohlenwasserstoffe oxidieren, insbesondere wenn sie Vanadiumoxid (V_2O_5) als ein katalytisches Material enthalten.

Zur Bereitstellung des Ammoniaks im Abgas ist die Einbringung von Harnstoff bekannt, aus dem durch Hydrolyse oder Thermolyse Ammoniak entsteht. Problematisch ist hierbei insbesondere für Fahrzeuganwendungen, dass ein entsprechender Harnstoffvorrat mitgeführt werden muss. Alternativ wurde daher bereits eine interne Ammoniakerzeugung vorgeschlagen. In den Offenlegungsschriften WO 97/17532 A1 und DE 199 49 046 A1 wird hierzu vorgeschlagen, einen Ammoniakerzeugungskatalysator und stromabwärts von diesem einen Ammoniakspeicher- und Stickoxidreduktionskatalysator, vorzugsweise ergänzt durch einen Sauerstoffspeicherkatalysator zwischen den beiden vorgenannten Katalysatoren oder stromabwärts des Ammoniakspeicher- und Stickoxidreduktionskatalysators, anzuordnen.

In der Offenlegungsschrift EP 0 878 609 A1 ist eine gattungsgemäße Abgasnachbehandlungseinrichtung beschrieben, bei der im Abgasstrang ein NO_x-Speicherkatalysator und diesem nachgeschaltet ein SCR-Katalysator angeordnet sind. Der NO_x-Speicherkatalysator kann alternativ oder zusätzlich zu einem

Dreiwegekatalysator auf Ammoniakbildung bei kurzzeitig fettem Motorbetrieb ausgelegt sein, der durch eine Nacheinspritzung von Kraftstoff in wenigstens einen Teil der Motorbrennräume realisiert wird. Bei dieser Art der internen Ammoniakerzeugung besteht die Gefahr, dass die erzeugte Ammoniakmenge die Ammoniakspeicherfähigkeit des SCR-Katalysators übersteigt und dadurch ein unerwünschter Ammoniak-Schlupf auftritt.

Mit den oben beschriebenen Abgasnachbehandlungsmaßnahmen wird keine Partikelminderung insbesondere von Rußpartikeln erreicht. Hierzu ist der Einsatz von Partikelfiltern bekannt. Im Partikelfilter gesammelter Ruß kann bei erhöhter Temperatur unter Anwesenheit von Sauerstoff abgebrannt werden. Eine gebräuchliche Maßnahme zur Aufheizung des Partikelfilters besteht darin, in das Abgas Kraftstoff z.B. durch eine Nacheinspritzung einzubringen und in einem dem Partikelfilter vorgeschalteten Oxidationskatalysator zu verbrennen. Es sind auch sogenannte CRT-Systeme mit kontinuierlicher Partikelfilterregeneration bekannt, siehe z.B. die Patentschrift US 4.902.487. Bei diesen Systemen wird am Oxidationskatalysator aus NO Stickstoffdioxid gebildet, das den im Partikelfilter gesammelten Ruß oxidiert.

In der Offenlegungsschrift DE 199 21 974 A1 wird zur Partikel- und Stickoxidminderung eine Abgasnachbehandlungseinrichtung mit einem Oxidationskatalysator, einem nachgeschalteten NO_x-Speicherkatalysator und einem Partikelfilter stromabwärts des NO_x-Speicherkatalysators oder zwischen dem Oxidationskatalysator und dem NO_x-Speicherkatalysator beschrieben. Bei der erstgenannten Anordnung begünstigt der Oxidationskatalysator die Funktion des NO_x-Speicherkatalysators durch NO₂-Bildung, es kann jedoch kein CRT-Effekt für den Partikelfilter erzielt werden, da die Stickoxide schon vor dem Partikelfilter zu Stickstoff reduziert werden. Wenn der Oxidationska-

talsator zur Partikelfilteraufheizung durch Verbrennen von nacheingespritztem Kraftstoff verwendet wird, ergibt sich bei dieser Anordnung eine hohe Temperaturbelastung des NO_x-Speicherkatalysators und ein relativ hoher Kraftstoffverbrauch. Bei der anderen genannten Anordnung enthält das Abgas vor dem NO_x-Speicherkatalysator überwiegend NO und nur wenig NO₂, da letzteres durch den CRT-Effekt in NO umgewandelt wird, wodurch sich das Speicherverhalten des NO_x-Speicherkatalysators verschlechtert. Wenn der Oxidationskatalysator bei dieser Anordnung zur Desulfatisierungs-Aufheizung des NO_x-Speicherkatalysators durch Verbrennen von nacheingespritztem Kraftstoff verwendet wird, muss wegen der hohen Wärmekapazität und der Wärmeübertragung im zwischenliegenden Abgasstrangabschnitt eine relativ hohe Temperatur am Oxidationskatalysator erreicht werden, die zu thermischen Alterungseffekten desselben führen kann.

Der Erfindung liegt als technisches Problem die Bereitstellung einer Abgasnachbehandlungseinrichtung der eingangs genannten Art und eines zugehörigen Abgasnachbehandlungsverfahrens zugrunde, mit denen sich möglichst viele der folgenden Anforderungen mit relativ geringem Aufwand in hohem Maß erfüllten lassen: Effektive Stickoxidreduktion in einem breiten Temperaturbereich, kein zusätzlicher Reduktionsmittel-Betriebsstoff, Vermeidung von Ammoniak- und Schwefelwasserstoffemissionen, minimale Partikelemission, Partikeloxidation durch NO₂-Reaktion, minimale CO- und HC-Emissionen, vergleichsweise geringe Temperaturbelastung aller abgasreinigenden Komponenten, minimaler Kraftstoffmehrverbrauch und geringer Bauraumbedarf.

Die Erfindung löst dieses Problem durch die Bereitstellung einer Abgasnachbehandlungseinrichtung mit den Merkmalen des

Anspruchs 1 sowie eines Abgasnachbehandlungsverfahrens mit den Merkmalen des Anspruchs 11 oder 12.

Die Abgasnachbehandlungseinrichtung nach Anspruch 1 beinhaltet außer einem Stickoxidspeicherkatalysator und einem diesem nachgeschalteten SCR-Katalysator zusätzlich einen Partikelfilter und/oder einen stromaufwärts des SCR-Katalysators angeordneten NO₂-Bildungskatalysator.

Der Stickoxidspeicherkatalysator erlaubt eine effektive Stickoxidminderung speziell auch bei mager betriebenen Brennkraftmaschinen. Der nachgeschaltete SCR-Katalysator verhindert durch seine NH₃-Speicherfähigkeit eine ungewollte Emission von durch den NO_x-Speicherkatalysator erzeugtem Ammoniak. Gleichzeitig ist der SCR-Katalysator in der Lage, mit eingespeichertem Ammoniak noch im Abgas stromabwärts des NO_x-Speicherkatalysators gegebenenfalls enthaltende Stickoxide zu reduzieren, wobei gleichzeitig der Ammoniak oxidiert wird. Dieser Effekt lässt sich dazu nutzen, am Stickoxidspeicherkatalysator gezielt Ammoniak zu bilden, um diesen im SCR-Katalysator als Reduktionsmittel zu nutzen. Dadurch kann eine effektive Stickoxidminderung auch in Zeiträumen aufrecht erhalten werden, in denen die Temperatur des NO_x-Speicherkatalysators vorübergehend außerhalb seines umwandlungsaktiven Bereichs liegt, wie z.B. als Folge der Exothermie nach einem Übergang von fetter zu magerer Abgaszusammensetzung.

Falls stromabwärts des NO_x-Speicherkatalysators noch Stickoxide im Abgas enthalten sind, so liegen diese meist in Form von NO vor, der NO₂-Anteil ist deutlich geringer und beträgt beispielsweise maximal 20%. Die Effektivität des SCR-Katalysators ist jedoch bei niedrigen Temperaturen unter 300°C etwa bei einem NO₂-Anteil von 50% am höchsten und bei

einem geringeren NO₂-Anteil deutlich reduziert. Zur Effektivitätssteigerung des SCR-Katalysators kann diesem der NO₂-Bildungskatalysator vorgeschaltet sein. Dieser Katalysator kann ein vergleichsweise kleines Volumen haben und eine Beschichtung aufweisen, die u.a. ein Edelmetall (z.B. Platin) enthält und in der Lage ist, zumindest in einem Temperaturbereich von etwa 200°C bis 350°C den NO₂-Anteil an der NO_x-Emission auf zumindest näherungsweise 50% zu erhöhen. Als Besonderheit hat die Beschichtung des NO₂-Bildungskatalysators die Eigenschaft, gezielt bei Betrieb mit $\lambda < 1$ im NO_x-Speicherkatalysator erzeugten Ammoniak nicht zu oxidieren, sondern unverändert passieren zu lassen. Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass die Beschichtung keine sauerstoffspeichernde Komponente enthält.

In einer entsprechenden Steuerungseinheit, die z.B. auch zur Steuerung der Verbrennungseinrichtung, wie einer Brennkraftmaschine, dienen kann, sind bevorzugt Funktionen implementiert, die über die Notwendigkeit und Möglichkeit einer gezielten NH₃-Erzeugung entscheiden und die Betriebsparameter, insbesondere die Dauer und Anfettungstiefe bei der NSK-Regeneration, geeignet vorgeben. Typischerweise kann die NH₃-Bildung durch ein kleineres Luftverhältnis und eine längere Regenerationsdauer verstärkt werden, sofern die Temperatur des NO_x-Speicherkatalysators im Bereich möglicher NH₃-Bildung liegt. Darüber hinaus kann der Betrieb der Verbrennungseinrichtung während der NSK-Regeneration in an sich bekannter Weise so eingestellt werden, dass eine hohe NO_x-Rohemission derselben erzielt und dadurch die NH₃-Bildung am NO_x-Speicherkatalysator weiter verstärkt wird.

Es hat sich gezeigt, dass der SCR-Katalysator auch eingesetzt werden kann, um eine beispielsweise bei der Desulfatisierung entstehende H₂S-Emission zu vermeiden. Versuche haben ergeben, dass ein SCR-Katalysator aufgrund seiner spezifischen

Eigenschaften auch bei fetter Abgaszusammensetzung ($\lambda < 1$) bei der Desulfatisierung auftretenden Schwefelwasserstoff zu SO₂ oxidieren kann. Hierdurch kann eine unangenehme Geruchsbelästigung vermieden werden.

Als weitere Besonderheit können SCR-Katalysatoren, sofern sie Vanadiumoxid enthalten, auch bei fetten Bedingungen ($\lambda < 1$) unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC) oxidieren. Hierdurch kann der Reduktionsmittel-Durchbruch bei der NSK-Regeneration vermindert werden. Insbesondere kann beispielsweise die Emission von möglicherweise krebserregenden Kohlenwasserstoffen wie Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol verringert werden, die bei fetten Bedingungen am NO_x-Speicherkatalysator entstehen können. Aufgrund seiner Eigenschaft, bei niedrigen Temperaturen auch Kohlenwasserstoffe zu speichern, kann der SCR-Katalysator zusätzlich zu einer Verringerung der HC-Emissionen nach dem Kaltstart beitragen. Die bei niedrigen Temperaturen gespeicherten HC werden bei höheren Temperaturen wieder freigesetzt und können am SCR-Katalysator oder einem nachgeschalteten Oxidationskatalysator oxidiert werden.

Zur nachmotorischen Partikelminderung kann ein Partikelfilter eingesetzt werden. Dieser hält die emittierten Partikel mit einer hohen Effektivität zurück. Wie üblich, können die gesammelten Partikel in regelmäßigen Abständen durch eine Temperaturerhöhung auf über 600°C abgebrannt werden. Soweit das den Partikelfilter erreichende Abgas NO₂ enthält, erfolgt auch bereits im Temperaturbereich etwa zwischen 250°C und 400°C eine Rußoxidation durch Reaktion mit NO₂ (CRT-Effekt). Der Partikelfilter kann generell katalytisch beschichtet sein, wobei die Beschichtung Komponenten wie ein Edelmetall (z.B. Platin) und einen Washcoat enthalten kann.

Durch geeignete Anordnung der Komponenten kann die auftretende maximale Temperaturbelastung der einzelnen Komponenten den

spezifischen Erfordernissen angepasst werden. Zudem kann durch geeignete Anordnung sichergestellt werden, dass die Temperaturen der einzelnen Komponenten im Fahrbetrieb in einem für die jeweilige Funktion günstigen Bereich liegen. Der für die Regeneration des NO_x-Speicherkatalysators erforderliche Fettbetrieb kann durch innermotorische Maßnahmen oder eine zusätzliche nachmotorische Einbringung von Reduktionsmittel (z.B. Kraftstoff oder Wasserstoff) realisiert werden.

Die Aufheizung des NO_x-Speicherkatalysators zur Desulfatisierung sowie des Partikelfilters zur thermischen Regeneration kann durch innermotorische Maßnahmen, u.a. Kraftstoff-Nacheinspritzung, erfolgen. Neben der gezielt erhöhten Abgas-temperatur führen im Abgas verbleibende, unvollständig verbrannte Kohlenwasserstoffe zu einer zusätzlichen Exothermie auf einem optional motornah angeordneten Katalysator, wodurch die Abgastemperatur weiter angehoben wird. Zusätzlich oder alternativ kann auch eine Zufuhr von Reduktionsmittel (z.B. Kraftstoff oder Wasserstoff) im Abgasstrang direkt vor der oder den aufzuheizenden Komponenten bzw. vor einem diesen Komponenten vorgeschalteten Oxidationskatalysator erfolgen. Dies hat den Vorteil, dass die Wärmeverluste durch Aufheizung weiterer vorgeschalteter Komponenten sowie Wärmeverluste durch Abkühlung in der Abgasleitung verringert werden. Hierdurch wird der Energieaufwand und damit der Kraftstoff-Mehrverbrauch für die Aufheizung auf ein Minimum beschränkt. Ein weiterer Vorteil ist, dass auf diese Weise weitere vorgeschaltete Komponenten nicht mit hohen Abgastemperaturen belastet werden und somit deren thermische Alterung auf ein Minimum beschränkt werden kann. Außerdem wird vermieden, dass weitere vorgeschaltete Komponenten, z.B. ein vorgeschalteter NO_x-Speicherkatalysator, aufgrund der Aufheizung das für eine gute Effizienz erforderliche Temperaturfenster verlassen.

Im Fall eines katalytisch beschichteten Partikelfilters besteht ein weiterer Vorteil darin, dass die Kraftstoff-Umsetzung wegen der hohen Wärmekapazität des Partikelfilters auch beispielsweise nach längeren Schubphasen des Verbrennungsmotors mit niedriger Abgastemperatur weiterhin möglich ist. Bei einem konventionellen Katalysator besteht dagegen die Gefahr, dass aufgrund der geringen Wärmekapazität die Temperatur unter vergleichbaren Bedingungen unter die Anspringtemperatur sinkt und somit keine katalytische Umsetzung der Kohlenwasserstoffe mehr möglich ist. Generell sind statt der Zufuhr von Reduktionsmittel (z.B. Kraftstoff oder Wasserstoff) vor einem Katalysator auch andere Verfahren zur Aufheizung möglich. Diese werden nachfolgend nicht ausdrücklich erwähnt, können aber anstelle der nachmotorischen Zufuhr von Reduktionsmittel eingesetzt werden. In diesem Zusammenhang sind beispielsweise ein elektrisch beheizter Katalysator, eine elektrische Beheizung des Partikelfilters oder der Einsatz eines Brenners als übliche herkömmlich Maßnahmen zu nennen.

Die nachmotorische Zufuhr von Reduktionsmittel stromaufwärts des NO_x-Speicherkatalysators kann auch dazu genutzt werden, bei Motorbetrieb mit magerem Abgas fette Bedingungen zur NSK-Regeneration einzustellen. Dies geschieht vorzugsweise bei Motorbetrieb zwischen $\lambda=1,0$ und $\lambda=1,2$, da andernfalls die zuführende Reduktionsmittelmenge zu groß ist. Hierbei ergibt sich als Vorteil, dass üblicherweise im Bereich zwischen $\lambda=1,0$ und $\lambda=1,2$ eine hohe NO_x-Rohemission auftritt, während diese bei Luftverhältnissen $\lambda<1$ deutlich niedriger ist. Somit kann dieses Verfahren dazu dienen, bei der NSK-Regeneration eine hohe NO_x-Emission und damit eine starke NH₃-Bildung zu erzielen.

Zur Vermeidung hoher CO- und HC-Emissionen während NSK-Regenerationen mit $\lambda<1$ kann vor einem nachgeschalteten Oxida-

tionskatalysator bei Bedarf eine Sekundärlufteinblasung erfolgen. Die Sekundärluft kann z.B. durch eine elektrisch angetriebene Sekundärluftpumpe oder einen Kompressor bereitgestellt werden oder bei aufgeladenen Motoren nach Verdichter entnommen werden.

Durch optionale Kombination bzw. Integration von zwei der genannten Funktionalitäten in einem Bauteil, beispielsweise durch Aufbringen einer katalytischen Beschichtung auf einen Partikelfilter, kann eine deutliche Reduzierung des Bauraumbedarfs erzielt werden.

In weiteren Ausgestaltungen beinhaltet die Abgasnachbehandlungseinrichtung einen oder mehrere NO_x-Sensoren nach dem NO_x-Speicherkatalysator und/oder dem SCR-Katalysator und/oder Mittel zur Erfassung der Temperatur einer oder mehrerer der abgasreinigenden Komponenten und/oder Mittel zur Erfassung der NH₃-Beladung des SCR-Katalysators.

Für die Reihenfolge von NO_x-Speicherkatalysator, SCR-Katalysator, Partikelfilter und NO₂-Bildungskatalysator im Abgasstrang sind verschiedene Realisierungen mit jeweils spezifischen Eigenschaften und Vorteilen möglich, was auch mehrflutige Anordnungen umfasst.

Das Verfahren nach Anspruch 11 ermöglicht eine vergleichsweise genaue, modellgestützte Steuerung des Zeitpunktes für die Auslösung einer jeweiligen Regeneration des Stickoxid-Speicherkatalysators.

Das Verfahren nach Anspruch 12 erlaubt eine gezielte Steuerung der Ammoniakerzeugung während einer jeweiligen Regenerationsphase des Stickoxid-Speicherkatalysators unter Berücksichtigung der aktuellen Verhältnisse, insbesondere hinsicht-

lich der Temperaturen des ammoniakerzeugenden NO_x-Speicherkatalysators und des SCR-Katalysators und/oder der Ammoniakbeladung des SCR-Katalysators, wobei je nach dem ermittelten Betriebszustand eine variable Ammoniakmenge vorgegeben werden kann, die in der anstehenden Regenerationsphase des NO_x-Speicherkatalysators erzeugt werden soll.

In Ausgestaltung dieses Verfahrens wird als ein Kriterium für die Beendigung einer Regenerationsphase des NO_x-Speicherkatalysators die Feststellung herangezogen, ob das Abgas-Luftverhältnis nach dem NO_x-Speicherkatalysator einen von der angestrebten Ammoniakbildungsmenge abhängigen Schwellwert unterschritten hat.

In weiterer Ausgestaltung des erfundungsgemäßen Verfahrens kann während der NSK-Regeneration eine externe, z.B. nachmotorische Reduktionsmittelzufuhr in den Abgasstrang vorgesehen sein, um die Verbrennungseinrichtung auch in diesem Zeitraum mager zu betreiben und dadurch eine hohe NO_x-Rohemission derselben zu erzielen.

In einer weiteren Verfahrensausgestaltung kann eine Sekundär-luftzufuhr an geeigneter Stelle in den Abgasstrang während der Fettbetriebsphasen vorgesehen sein, um in diesen Betriebsphasen eventuelle Anteile von NH₃, H₂S, CO und HC zu oxidieren und damit entsprechende Schadstoffemissionen zu verhindern.

Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden nachfolgend beschrieben. Hierbei zeigen:

Fig. 1 eine schematische Blockdiagrammdarstellung einer Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs mit ange-

schlossener, einflutiger Abgasnachbehandlungseinrichtung, die hintereinander geschaltet einen ersten Oxidationskatalysator, einen Partikelfilter, einen NO_x-Speicherkatalysator, einen NO₂-Bildungskatalysator, einen SCR-Katalysator und einen zweiten Oxidationskatalysator beinhaltet,

Fig. 2 eine schematische Blockdiagrammdarstellung entsprechend Fig. 1, jedoch mit einer modifizierten Abgasnachbehandlungseinrichtung, die hintereinandergeschaltet einen NO_x-Speicherkatalysator, einen NO₂-Bildungskatalysator, einen Partikelfilter, einen SCR-Katalysator und einen Oxidationskatalysator beinhaltet,

Fig. 3 eine schematische Blockdiagrammdarstellung entsprechend Fig. 1 mit einer modifizierten Abgasnachbehandlungseinrichtung, die hintereinandergeschaltet einen NO_x-Speicherkatalysator, einen NO₂-Bildungskatalysator, einen SCR-Katalysator, einen Oxidationskatalysator und einen Partikelfilter beinhaltet,

Fig. 4 eine schematische Blockdiagrammdarstellung entsprechend Fig. 1, jedoch mit einer modifizierten Abgasnachbehandlungseinrichtung, die einen ersten Oxidationskatalysator, einen integrierten Stickoxidspeicher- und SCR-Katalysator, einen zweiten Oxidationskatalysator und einen Partikelfilter beinhaltet, und

Fig. 5 eine schematische Blockdiagrammdarstellung entsprechend Fig. 1, jedoch für eine modifizierte Brennkraftmaschine mit zweiflutigem Abgasstrang und zu-

geordneter zweiflutiger Abgasnachbehandlungseinrichtung.

Die Abgasnachbehandlungseinrichtung von Fig. 1 beinhaltet in Abgasströmungsrichtung hinter einer Brennkraftmaschine 1 in einem Abgasstrang 3 nacheinander einen Oxidationskatalysator 4, einen Partikelfilter 5, einen NO_x-Speicherkatalysator 6, einen NO₂-Bildungskatalysator 13, einen SCR-Katalysator 7 und einen weiteren Oxidationskatalysator 4 als abgasreinigende Komponenten. Eine Steuerungseinheit 2 dient zur Steuerung der Brennkraftmaschine 1, bei der es sich z.B. um einen üblichen Diesel- oder Ottomotor handeln kann, und der Abgasnachbehandlungseinrichtung. Des weiteren sind Temperatursensoren 8, NO_x-Sensoren 9, Lambdasonden 10, Einrichtungen 11 zur nachmotorischen Zufuhr von Reduktionsmittel, eine Einrichtung 12 zur Zufuhr von Sekundärluft und Drucksensoren 14 an geeigneten Stellen des Abgasstrangs 3, wie gezeigt, vorgesehen.

Die Brennkraftmaschine 1 liefert Abgas, das u.a. NO_x, Partikel, CO und HC enthält. Bei regulärem Magerbetrieb der Brennkraftmaschine 1 werden CO und HC am Oxidationskatalysator 4 zu CO₂ und H₂O oxidiert. Außerdem wird ein Teil des im Abgas enthaltenen NO zu NO₂ oxidiert. Die im Abgas vorhandenen Partikel werden im Partikelfilter 5 zurückgehalten. Ein Teil der im Partikelfilter 5 angesammelten Rußpartikel wird durch Reaktion mit NO₂ oxidiert, wobei NO₂ zu NO reduziert wird. Im NO_x-Speicherkatalysator 6 werden die im Abgas enthaltenen Stickoxide gespeichert. Falls nach NO_x-Speicherkatalysator 6 noch Stickoxide im Abgas enthalten sind, so liegen diese meist in Form von NO vor, der NO₂-Anteil ist deutlich geringer und beträgt beispielsweise maximal 20%. Die Effektivität des SCR-Katalysators 7 ist jedoch bei niedrigen Temperaturen unter 300°C etwa bei einem NO₂-Anteil von 50% am höchsten und

bei einem geringeren NO₂-Anteil deutlich reduziert. Daher ist dem SCR-Katalysator 7 der NO₂-Bildungskatalysator 13 vorgeschaltet. Dieser Katalysator 13 weist eine Beschichtung auf, die u.a. Edelmetall (z.B. Platin) enthält und in der Lage ist, zumindest in einem Temperaturbereich von etwa 200°C bis 350°C den NO₂-Anteil an der NO_x-Emission auf zumindest näherungsweise 50% zu erhöhen. Als Besonderheit hat die Beschichtung des NO₂-Bildungskatalysators die Eigenschaft, gezielt bei Betrieb mit $\lambda < 1$ im NO_x-Speicherkatalysator erzeugten Ammoniak nicht zu oxidieren, sondern unverändert passieren zu lassen. Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass die Beschichtung keine sauerstoffspeichernde Komponente enthält. Der SCR-Katalysator 7 ist in der Lage, die Stickoxide mit Hilfe von in ihm gespeichertem NH₃ zu reduzieren. Hierbei wird die Effektivität bei Temperaturen unter 300°C durch den vorgeschalteten NO₂-Bildungskatalysator 13 erhöht.

Um an allen Komponenten, insbesondere am NO_x-Speicherkatalysator 6 und SCR-Katalysator 7, ausreichende Temperaturen auch bei Niedriglastbetrieb und damit eine bestmögliche NO_x-Minderung zu erzielen, können Heizmaßnahmen angewendet werden. Diese können innermotorisch sein, z.B. eine Spätverlegung der Haupteinspritzung oder Nacheinspritzung, oder auch nachmotorisch durch Zufuhr von Reduktionsmittel vor NO_x-Speicherkatalysator zur Exothermieerzeugung, sofern der NO_x-Speicherkatalysator 6 eine ausreichende Temperatur zur Umsetzung des Reduktionsmittels erreicht hat. Weitere Maßnahmen zur Erhöhung der Abgastemperatur können sein: Erhöhung der Leerlaufdrehzahl, Verlängerung der Nachglühzeit, Zuschalten zusätzlicher elektrischer Verbraucher oder eine Erhöhung der AGR-Rate. Die oben genannten Heizmaßnahmen können beispielsweise durch die Steuerungseinheit 2 in Abhängigkeit der eingehenden Temperatursensor-Signale oder mittels Modell gesteuert werden. Die Abgasleitung 3 kann thermisch isoliert sein,

um Wärmeverluste aus dem Abgas zu minimieren. Beispielsweise kann eine Luftspalt-Isolation verwendet werden.

In regelmäßigen Abständen sind NSK-Regenerationen erforderlich. Die Zeitpunkte für Regenerationen werden mit Hilfe des NO_x-Sensors 9 hinter SCR-Katalysator bestimmt. Das Signal des NO_x-Sensors 9 wird in der Steuerungseinheit 2 erfasst und bewertet. Bei unzulässig hohem NO_x-Durchbruch, beispielsweise bei Überschreiten eines gewissen Anteils der NO_x-Rohemission (z.B. NO_x-Gehalt nach NO_x-Speicherkatalysator > 10 % der NO_x-Rohemission), erfolgt in der Steuerungseinheit 2 die Anforderung einer NSK-Regeneration. Sofern in der Steuerungseinheit 2 berücksichtigte Kriterien erfüllt sind, die motorseitig Voraussetzung für die Realisierung einer NSK-Regeneration sind, beispielsweise Betrieb in einem Teil des Betriebsbereichs des Motors 1, in dem eine NSK-Regeneration darstellbar ist, wird die NSK-Regeneration eingeleitet.

In der Steuerungseinheit 2 sind Modelle für die NO_x-Rohemission, das NO_x-Speicher-Verhalten des NO_x-Speicherkatalysators 6, die NH₃-Bildung am NO_x-Speicher-Katalysator und die NH₃-Speicherung im SCR-Katalysator 7 abgelegt. Diese können für die Bewertung des NO_x-Sensorsignals hinter SCR-Katalysator herangezogen werden und auch für Diagnosezwecke verwendet werden. Auf Basis der Sensorsignale kann eine Adaption der Modelle an den aktuellen Alterungszustand der Katalysatoren erfolgen. Alternativ kann durch Vergleich der Sensorsignale der NO_x-Sensoren 9 und/oder der Lambda-Sonden 10 mit dem modellierten Verhalten der Katalysatoren eine Diagnose des Alterungszustands erfolgen, ohne jedoch das Modell zu adaptieren.

Alternativ zu der Betrachtung des NO_x-Signals nach SCR-Katalysator oder als zusätzliche Option kann eine NSK-

Regeneration angefordert werden, wenn die modellierte SCR-Beladung mit NH₃ einen relativen Wert, z.B. 5% der möglichen NH₃-Beladung, oder absoluten Wert, z.B. 0,1 g NH₃, unterschreitet.

Alternativ zu der Betrachtung des NO_x-Signals nach SCR-Katalysator kann auch das Signal des NO_x-Sensors 9 nach NO_x-Speicherkatalysator betrachtet werden. Dieses kann analog zu der oben beschriebenen Vorgehensweise bewertet werden und als Kriterium für die Anforderung einer NSK-Regeneration dienen.

Alternativ kann das Signal des NO_x-Sensors 9 nach NO_x-Speicherkatalysator als Eingangsgröße für das NSK-Modell in der Steuerungseinheit 2 verwendet werden. Mit Hilfe des Modells kann die Nitratbeladung des NO₂-Speicherkatalysators 6 berechnet werden und somit die NH₃-Bildung unter Berücksichtigung der Alterung abgeschätzt werden. Da die NH₃-Beladung des SCR-Katalysators 7 ebenfalls mittels Modell berechnet wird, kann eine NSK-Regeneration angefordert werden, wenn die modellierte SCR-Beladung mit NH₃ einen relativen Wert, z.B. 5% der möglichen NH₃-Beladung, oder absoluten Wert, z.B. 0,1 g NH₃, unterschreitet.

Prinzipiell können auch beide NO_x-Sensoren 9 genutzt werden, wobei ein Sensor wie oben beschrieben ein Kriterium für die Anforderung einer NSK-Regeneration liefert und der zweite NO_x-Sensor zur Diagnose und zur Adaption der Katalysatormodelle in der Steuerungseinheit 2 genutzt wird. Zusätzlich kann nach NO_x-Speicherkatalysator und auch nach SCR-Katalysator ein NH₃-Sensor vorgesehen werden (in Fig. 1 nicht dargestellt), dessen Signal zur Adaption der Modelle des NO_x-Speicherkatalysators 6 und des SCR-Katalysators 7 oder auch zur Regelung der Regenerationsparameter genutzt werden kann.

Die Steuerungseinheit 2 beinhaltet Funktionen, die über die Notwendigkeit und Möglichkeit einer gezielten NH₃-Erzeugung bei einer bevorstehenden NSK-Regeneration entscheiden und die Betriebsparameter, insbesondere die Dauer und Anfettungstiefe, entsprechend vorgeben. Wichtiges Kriterium hierfür sind die Temperaturen des NO_x-Speicherkatalysators 6 und des SCR-Katalysators 7. Die Temperaturen werden durch die Temperatursensoren 8 in oder hinter den jeweiligen Komponenten bestimmt. Alternativ kann die Temperatur des SCR-Katalysators 7 auf Basis der gemessenen Temperatur nach NO_x-Speicherkatalysator mit Hilfe eines Modells in der Steuereinheit 2 berechnet werden, so dass der Sensor 8 nach SCR-Katalysator entfallen kann. Neben den Temperaturen des NO_x-Speicherkatalysators 6 und des SCR-Katalysators 7 kann auch beispielsweise die mittels Modell berechnete aktuelle NH₃-Beladung des SCR-Katalysators 7 als Kriterium verwendet werden.

Sofern die Temperaturen des NO_x-Speicherkatalysators 6 und des SCR-Katalysators 7 innerhalb von vorgegebenen Bereichen liegen, die aktuelle NH₃-Beladung des SCR-Katalysators 7 gering ist und evtl. weitere Bedingungen erfüllt sind, wird eine maximale NH₃-Bildung angestrebt. Liegt die Temperatur des NO_x-Speicherkatalysators 6 außerhalb des vorgegebenen Bereichs, der z.B. zwischen 230°C und 370°C liegen kann, ist eine NH₃-Bildung nicht oder nur eingeschränkt möglich und wird daher auch nicht angestrebt. Hierdurch wird ein unnötig hoher Kraftstoff-Mehrverbrauch und eine erhöhte HC- und CO-Emission aufgrund zu langer Regeneration vermieden. Liegt die Temperatur des SCR-Katalysators 7 außerhalb des vorgegebenen Bereichs, der z.B. zwischen 200°C und 450°C liegen kann, wird ebenfalls keine oder nur eine geringe NH₃-Bildung angestrebt, da entweder NH₃ im SCR-Katalysator 7 unzureichend gespeichert werden kann und somit emittiert würde oder kaum NO_x-Umsatz am

SCR-Katalysator 7 stattfinden kann. Das gleiche gilt für den Fall, dass die aktuelle NH₃-Beladung des SCR-Katalysators 7 so hoch ist, dass keine erneute NH₃-Bildung erforderlich ist.

Generell können neben den aktuellen Temperaturen insbesondere beim SCR-Katalysator 7 auch Temperaturgradienten, z.B. ein rascher Anstieg, berücksichtigt werden bzw. eine Temperatur-Voraussage realisiert werden. Die vorausgesagte Temperatur wird dann zusätzlich zur aktuellen Temperatur berücksichtigt. Z.B. wird eine geringere NH₃-Bildung angestrebt, wenn eine starke Zunahme der Temperatur des SCR-Katalysators 7 vorausgesagt wird, da andernfalls die Gefahr einer späteren NH₃-Desorption im SCR-Katalysator 7 besteht. Der Alterungszustand des NO_x-Speicherkatalysators 6 wird bei der Entscheidung über die angestrebte NH₃-Bildung ebenfalls berücksichtigt, da mit zunehmender Alterung des NO_x-Speicherkatalysators 6 die NO_x-Reduktion im SCR-Katalysator 7 an Bedeutung gewinnt.

Das optimale Luftverhältnis wird in der Steuerungseinheit 2 in Abhängigkeit der angestrebten NH₃-Bildung festgelegt. Sofern eine starke NH₃-Bildung angestrebt wird, wird ein Luftverhältnis für maximale NH₃-Bildung vorgegeben. Ist dies nicht der Fall, wird ein Luftverhältnis für geringe bzw. keine NH₃-Bildung vorgegeben. Hierbei sind auch Zwischenwerte für eine mittlere NH₃-Bildung möglich. In Abhängigkeit der Temperaturen von NO_x-Speicherkatalysator 6 und SCR-Katalysator 7 und weiteren Parametern kann das Luftverhältnis auch während der NSK-Regeneration kontinuierlich oder gestuft variiert werden. Beispielsweise kann zu Beginn ein kleineres Luftverhältnis und mit fortschreitender Regeneration ein größeres Luftverhältnis eingestellt werden, um bei der NSK-Regeneration eine starke NH₃-Bildung bei zugleich geringen HC- und CO-Emissionen zu erzielen.

Die Dauer der NSK-Regenerationen wird ebenfalls in Abhängigkeit der angestrebten NH₃-Bildung eingestellt. Dazu wird der allmähliche Abfall des Luftverhältnisses nach NO_x-Speicherkatalysator 6 auf Werte kleiner $\lambda=1$ als Kriterium für den Abbruch der NSK-Regeneration verwendet. Sofern eine starke NH₃-Bildung angestrebt wird, wird die Regeneration beendet, sobald das mit der Lambdasonde 10 nach NO_x-Speicherkatalysator ermittelte Luftverhältnis einen Schwellenwert λ_1 unterschreitet. Optional kann auch eine Verlängerung über diesen Zeitpunkt hinaus um eine vorgegebene Zeit oder Anzahl Arbeitsspiele des Motors 1 erfolgen. Wenn keine NH₃-Bildung angestrebt wird, wird die Regeneration sofort beendet, sobald das Luftverhältnis nach NO_x-Speicherkatalysator einen Schwellenwert λ_2 unterschreitet, wobei λ_2 größer als λ_1 ist. Hierdurch werden HC/CO-Durchbrüche weitestgehend vermieden und ein niedriger Kraftstoff-Mehrverbrauch erreicht. Die Schwellenwerte können in Abhängigkeit der NSK-Alterung und weiterer Parameter variiert werden. Es sind auch Zwischenwerte möglich, um eine mittlere NH₃-Bildung zu erzielen.

Sofern eine starke NH₃-Bildung angestrebt wird, wird der Motorbetrieb während der NSK-Regeneration zusätzlich so eingestellt, dass eine möglichst hohe NO_x-Rohemission des Motors 1 erzielt wird. Dies kann in Kombination mit einer nachmotorischen Zufuhr von Reduktionsmittel stromaufwärts des NO_x-Speicherkatalysators 6 erfolgen. Hierdurch wird die NH₃-Bildung am NO_x-Speicherkatalysator 6 weiter verstärkt. Falls keine NH₃-Bildung angestrebt wird, wird der Motorbetrieb dagegen so eingestellt, dass eine möglichst niedrige NO_x-Rohemission desselben erzielt wird.

Die vor dem NO_x-Speicherkatalysator 6 angeordnete Einrichtung 11 zur nachmotorischen Zufuhr von Reduktionsmittel wird genutzt, um den NO_x-Speicherkatalysator 6 für eine Desulfati-

sierung aufzuheizen. Diese Maßnahme erfolgt zusätzlich zu motorischen Maßnahmen zur Aufheizung. Durch die Unterstützung mittels nachmotorischer Reduktionsmittelzufuhr können die motorischen Maßnahmen verringert werden, so dass die thermische Alterung des Oxidationskatalysators reduziert wird. Die Aufheizung des NO_x-Speicherkatalysators 6 ausschließlich durch nachmotorische Reduktionsmittelzufuhr ist nicht anzustreben, da wegen der großen Reduktionsmittelmenge eine starke Exothermie auf dem NO_x-Speicherkatalysator 6 erzeugt würde, die zu einer thermischen Alterung führen würde. Die zugeführte Reduktionsmittelmenge wird u.a. abhängig von folgenden Parametern geregelt: angestrebte Temperatur des NO_x-Speicherkatalysators 6, tatsächliche Temperatur nach Partikelfilter, tatsächliche Temperatur nach NO_x-Speicherkatalysator und Abgasmassenstrom.

Darüber hinaus kann zumindest eine der beiden in Fig. 1 dargestellten Einrichtungen 11 zur nachmotorischen Zufuhr von Reduktionsmittel dazu genutzt werden, während der NSK-Regeneration eine möglichst hohe NO_x-Rohemission des Motors 1 zu realisieren. Hierzu wird der Motor 1 mit einem Luftverhältnis $\lambda > 1$ betrieben, bei dem eine hohe NO_x-Emission erreicht wird, vorzugsweise zwischen $\lambda = 1,0$ und $\lambda = 1,2$. Durch die nachmotorische Zufuhr von Reduktionsmittel kann das Luftverhältnis vor NO_x-Speicherkatalysator auf $\lambda < 1$ abgesenkt werden.

In regelmäßigen Abständen sind thermische Regenerationen des Partikelfilters 5 erforderlich. Dies kann beispielsweise der Fall sein, wenn mit den Drucksensoren 14 vor und nach Partikelfilter ein hoher Druckabfall am Partikelfilter 5 festgestellt wird, der auf eine unzulässig hohe Beladung des Partikelfilters 5 schließen lässt. Zur Aufheizung des Partikelfilters 5 kann die vor dem Partikelfilter 5 und dem vorgeschalteten Oxidationskatalysator 4 angeordnete Einrichtung 11 zur

nachmotorischen Zufuhr von Reduktionsmittel genutzt werden. Diese Maßnahme erfolgt zusätzlich zu innermotorischen Maßnahmen zur Anhebung der Abgastemperatur. Durch die Unterstützung mittels nachmotorischer Reduktionsmittelzufuhr können die innermotorischen Maßnahmen verringert werden. Die Aufheizung des Oxidationskatalysators 4 und damit des Partikelfilters 5 ausschließlich durch nachmotorische Reduktionsmittelzufuhr ist nicht anzustreben, da wegen der großen Reduktionsmittelmenge eine starke Exothermie auf dem Oxidationskatalysator 4 erzeugt würde, die zu einer thermischen Alterung führen würde. Die zugeführte Reduktionsmittelmenge wird u.a. abhängig von folgenden Parametern geregelt: angestrebte Temperatur des Partikelfilters 5, tatsächliche Temperatur vor Partikelfilter, tatsächliche Temperatur nach Partikelfilter und Abgasmassenstrom.

Dem SCR-Katalysator 7 sind die Einrichtung 12 zur Zufuhr von Sekundärluft sowie der weitere Oxidationskatalysator 4 nachgeschaltet. Dieser Oxidationskatalysator 4 kann wesentlich kleiner und beispielsweise auch mit einer geringeren Edelmetallbeladung ausgeführt werden als der Oxidationskatalysator 4 vor Partikelfilter. Die Einrichtung 12 zur Zufuhr von Sekundärluft wird immer dann aktiviert, wenn der Motor 1 mit $\lambda < 1$ betrieben wird. In diesen Phasen können unerwünschte Emissionen entstehen, wie NH_3 , H_2S sowie CO und HC. Diese Komponenten können in dem der Einrichtung 12 zur Zufuhr von Sekundärluft nachgeschalteten Oxidationskatalysator 4 oxidiert werden, so dass eine Emission dieser unerwünschten Komponenten vermieden wird.

Hierzu wird die zugeführte Sekundärluftmenge so eingestellt, dass am nachgeschalteten Oxidationskatalysator 4 trotz Motorbetriebs mit $\lambda < 1$ eine magere Abgaszusammensetzung ($\lambda > 1$) erreicht wird. Für die Regelung der zugeführten Sekundärluft-

menge wird in der Steuerungseinheit 2 unter anderem das Signal mindestens einer Lambdasonde 10 sowie der Abgasmassenstrom herangezogen. Falls die Einrichtung 12 zur Zufuhr von Sekundärluft erst nach einer gewissen Vorlaufzeit in der Lage ist, Sekundärluft in ausreichender Menge bereitzustellen, wird sie jeweils bereits mit entsprechender Vorlaufzeit vor dem Wechsel zu Betrieb mit $\lambda < 1$ aktiviert.

Vorteilhaft ist bei diesem Ausführungsbeispiel, dass der SCR-Katalysator 7 vor hohen Temperaturen nach Partikelfilter bei der thermischen Regeneration des Partikelfilters 5 geschützt ist, da infolge der Abgasleitungslänge eine deutliche Abkühlung des Abgases bis zum Erreichen des SCR-Katalysators 7 auftritt und zudem der NO_x-Speicherkatalysator 6 als Wärmequelle wirkt. Auf diese Weise kann die thermische Alterung des SCR-Katalysators 7 gering gehalten werden. Als weiterer Vorteil führt die hohe Wärmekapazität des Partikelfilters 5 zu einer Stabilisierung der Temperaturen der nachgeschalteten Komponenten auch bei instationärem Fahrbetrieb. Somit ist sichergestellt, dass der NO_x-Speicherkatalysator 6 und der SCR-Katalysator 7 auch bei instationärem Fahrbetrieb meist in einem günstigen Temperaturbereich liegen und daher das System mit einer hohen Effizienz arbeitet. Zudem ist die Gefahr minimiert, dass es am SCR-Katalysator 7 aufgrund einer raschen Temperaturzunahme zu einer unerwünschten Desorption von gespeichertem NH₃ kommt.

Der Partikelfilter 5 kann katalytisch beschichtet sein. Die katalytische Beschichtung des Partikelfilters 5 kann ähnlich der Beschichtung eines der Oxidationskatalysatoren 4 sein. Hierdurch kann der vorgeschaltete Oxidationskatalysator 4 kleiner oder mit geringerem Edelmetallgehalt ausgeführt werden, was zu Bauraum- bzw. Kostenvorteilen führt. Gegebenenfalls kann der dem Partikelfilter 5 vorgeschaltete Oxidati-

onskatalysator 4 auch ganz entfallen. In diesem Fall entfällt auch der Temperatursensor 8 vor dem Partikelfilter 5. Somit wird als Regelgröße bei der Aufheizung des Partikelfilters 5 zur thermischen Regeneration nicht mehr die Temperatur vor Partikelfilter, sondern die Temperatur nach Partikelfilter verwendet. Die katalytische Beschichtung des Partikelfilters 5 kann aber auch ähnlich der Beschichtung des NO_x-Speicherkatalysators 6 sein. Hierdurch kann der nachgeschaltete NO_x-Speicherkatalysator 6 kleiner ausgeführt werden, was zu Bauraum- bzw. Kostenvorteilen führt. Gegebenenfalls kann der separate NO_x-Speicherkatalysator 6 auch ganz entfallen, d.h. in den Partikelfilter 5 integriert sein.

Es ist zu beachten, dass zumindest ein Teil der Temperatursensoren 8 auch entfallen kann. Ebenfalls können auch ein Teil oder alle NO_x-Sensoren 9 entfallen. In diesem Fall werden die im Abgasnachbehandlungssystem enthaltenen Komponenten per Modell in der Steuerungseinheit 2 so abgebildet, dass die an den jeweiligen Positionen auftretenden Temperaturen oder NO_x-Konzentrationen als Ausgangsgrößen des Modells verfügbar sind. Ebenso können eine oder beide Einrichtungen 11 zur nachmotorischen Zufuhr von Reduktionsmittel entfallen. Die Einrichtung 12 zur Zufuhr von Sekundärluft sowie der nachgeschaltete Oxidationskatalysator 4 können ebenfalls entfallen.

Der NO₂-Bildungskatalysator 13 kann, wie in Fig. 1 dargestellt, als separates Bauteil ausgeführt werden. Alternativ ist es auch möglich, diesen am austrittseitigen Ende des NO_x-Speicherkatalysators 6 oder am eintrittsseitigen Ende des SCR-Katalysators 7 zu integrieren. Alternativ kann der NO₂-Bildungskatalysator 13 auch entfallen.

Das in Fig. 2 gezeigte Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von demjenigen der Fig. 1 dahingehend, dass der NO_x-Speicher-

katalysator 6 die erste abgasreinigende Komponente bildet, der dann der NO_x-Bildungskatalysator 13, der Partikelfilter 5, der SCR-Katalysator 7 und der stromabwärtige Oxidationskatalysator 4 in dieser Reihenfolge nachgeschaltet sind, während der andere, stromaufwärtige Oxidationskatalysator entfällt. Funktionell gleiche Komponenten sind in Fig. 2 mit denselben Bezugszeichen versehen wie in Fig. 1. Die nachfolgenden Erläuterungen zum Ausführungsbeispiel von Fig. 2 können auf die sich aus der andersartigen Reihenfolge der abgasreinigenden Komponenten ergebenden Unterschiede beschränkt werden, im übrigen gelten die oben zum Ausführungsbeispiel von Fig. 1 erläuterten Eigenschaften und Vorteile entsprechend.

So übernimmt im Beispiel von Fig. 2 der NO_x-Speicherkatalysator 6 die Funktion, im regulären Magerbetrieb der Brennkraftmaschine 1 CO und HC zu CO₂ und H₂O zu oxidieren und einen wesentlichen Teil der im Abgas enthaltenen Stickoxide zwischenzuspeichern.

Der NO_x-Bildungskatalysator 13 ist in diesem Fall direkt dem Partikelfilter 5 vorgeschaltet, um den NO_x-Anteil der je nach Betriebszustand nach dem NO_x-Speicherkatalysator 6 noch im Abgas enthaltenen Stickoxide von typischerweise höchstens 20% auf mindestens etwa 50% zu steigern. Dadurch kann die Rußoxidation im Partikelfilter 5 durch Reaktion mit NO₂ (CRT-Effekt) gefördert und die Effektivität des nachgeschalteten SCR-Katalysators 7 erhöht werden. Diese Effekte können weiter dadurch verstärkt werden, dass am NO_x-Speicherkatalysator 6 ein maximaler NO_x-Schlupf zugelassen wird, so dass das NO_x-Reduktionspotential des SCR-Katalysators 7 maximal ausgenutzt werden kann. Bei Temperaturen unter 300°C wird die Effektivität auch durch den dem Partikelfilter 5 vorgeschalteten NO_x-Bildungskatalysator 13 erhöht.

Auch bei der Anordnung von Fig. 2 kann zur Aufheizung des Partikelfilters 5 insbesondere die hier direkt vor dem NO₂-Bildungskatalysator 13 positionierte Einrichtung 11 zur nachmotorischen Reduktionsmittelzufuhr genutzt werden, wodurch innermotorische Maßnahmen für diesen Zweck verringert werden können, was Alterungseffekte des NO_x-Speicherkatalysators 6 verringert. Die Aufheizung des NO₂-Bildungskatalysators 13 allein durch nachmotorische Reduktionsmittelzufuhr ist wegen thermischer Alterungseffekte desselben nicht anzustreben. Die zugeführte Reduktionsmittelmenge wird u.a. abhängig von folgenden Parametern geregelt: angestrebte Temperatur des Partikelfilters 5, tatsächliche Temperatur vor NO₂-Bildungskatalysator bzw. nach NO_x-Speicherkatalysator, tatsächliche Temperatur nach Partikelfilter und Abgasmassenstrom.

Vorteilhaft ist beim Ausführungsbeispiel von Fig. 2, dass der NO_x-Speicherkatalysator 6 aufgrund seiner motornahen Position nach einem Kaltstart schnell die erforderliche Betriebstemperatur erreicht. Somit sind geringe Maßnahmen zur Anhebung der Abgastemperatur erforderlich. Dies führt zu einer Verringerung des Kraftstoff-Mehrverbrauchs durch Heizmaßnahmen. Des Weiteren ist bei diesem Ausführungsbeispiel der SCR-Katalysator 7 vor hohen Temperaturen bei der Desulfatisierung des NO_x-Speicherkatalysators 6 geschützt, da infolge der Abgasleitungslänge eine deutliche Abkühlung des Abgases bis zum Erreichen des SCR-Katalysators 7 auftritt und zudem der Partikelfilter 5 und der NO₂-Bildungskatalysator 13 als Wärmeesenke wirken. Auf diese Weise kann die thermische Alterung des SCR-Katalysators 7 gering gehalten werden. Als weiterer Vorteil führt die hohe Wärmekapazität des Partikelfilters 5 zu einer Stabilisierung der Temperatur des nachgeschalteten SCR-Katalysators 7 auch bei instationärem Fahrbetrieb. Somit ist sichergestellt, dass der SCR-Katalysator 7 auch bei in-

stationärem Fahrbetrieb meist in einem günstigen Temperaturbereich liegt und daher mit einer hohen Effizienz arbeitet. Zudem ist die Gefahr minimiert, dass es am SCR-Katalysator 7 aufgrund einer raschen Temperaturzunahme zu einer unerwünschten Desorption von gespeichertem NH₃ kommt.

Der Partikelfilter 5 kann katalytisch beschichtet sein. Die katalytische Beschichtung des Partikelfilters 5 kann ähnlich der Beschichtung des NO₂-Bildungskatalysators 13 sein. Hierdurch kann der vorgeschaltete NO₂-Bildungskatalysator 13 kleiner oder mit geringerem Edelmetallgehalt ausgeführt werden, was zu Bauraum- bzw. Kostenvorteilen führt. Gegebenenfalls kann der dem Partikelfilter 5 vorgeschaltete NO₂-Bildungskatalysator auch ganz entfallen.

Die katalytische Beschichtung des Partikelfilters 5 kann aber auch ähnlich der Beschichtung des NO_x-Speicherkatalysators 6 sein. Hierdurch kann der motornah angeordnete NO_x-Speicherkatalysator 6 kleiner ausgeführt werden, was zu Bauraum- bzw. Kostenvorteilen führt. Gegebenenfalls kann der separate NO_x-Speicherkatalysator 6 auch ganz entfallen, d.h. dessen Funktion in den Partikelfilter 5 integriert sein. In diesem Fall können auch der NO₂-Bildungskatalysator 13 sowie die Einrichtung 11 zur nachmotorischen Zufuhr von Reduktionsmittel vor dem NO₂-Bildungskatalysator 13 entfallen. Der vor Partikelfilter dargestellte Drucksensor 14 bleibt jedoch erhalten, der in Fig. 2 nach NO_x-Speicherkatalysator 6 dargestellte NO_x-Sensor 9 und die Lambdasonde 10 sind dann hinter dem Partikelfilter 5 positioniert.

Des weiteren kann die katalytische Beschichtung auch ähnlich der Beschichtung des nachgeschalteten SCR-Katalysators 7 sein. Hierdurch kann der SCR-Katalysator 7 kleiner ausgeführt werden, was zu Bauraum- bzw. Kostenvorteilen führt. Gegeben-

nenfalls kann der SCR-Katalysator als separate Komponente auch ganz entfallen. In diesem Fall kann der in Fig. 2 dargestellte Temperatursensor 8 zwischen Partikelfilter und SCR-Katalysator entfallen, der nach Partikelfilter dargestellte Drucksensor 14 bleibt jedoch erhalten.

Der NO₂-Bildungskatalysator 13 kann auch statt vor dem Partikelfilter 5 am austrittsseitigen Ende des NO_x-Speicher-katalysators 6 integriert werden. Alternativ kann der NO₂-Bildungskatalysator 13 auch vor dem SCR-Katalysator 7 angeordnet werden. Als weitere Möglichkeit kann der NO₂-Bildungskatalysator 13 auch am eintrittsseitigen Ende des SCR-Katalysators 7 integriert werden. Alternativ kann der NO₂-Bildungskatalysator 13 auch entfallen.

Obwohl in Fig. 2 nicht dargestellt, kann zusätzlich vor dem NO_x-Speicherkatalysator 6 ein weiterer Oxidationskatalysator vorgeschaltet werden, welcher insbesondere beim Kaltstart zu einer weiteren Verringerung der HC- und CO-Emission führen kann.

Fig. 3 zeigt als weitere Variante eine Abgasnachbehandlungseinrichtung, die sich von derjenigen der Fig. 2 darin unterscheidet, dass die Positionen von Partikelfilter 5 und SCR-Katalysator 7 vertauscht sind und der Oxidationskatalysator 4 direkt dem Partikelfilter 5 vorgeschaltet ist. Wie im Beispiel von Fig. 2 gegenüber demjenigen von Fig. 1 sind außerdem die übrigen Komponenten, d.h. die diversen Sensoren 8, 9, 10, 14, die Einrichtungen 11 zur nachmotorischen Reduktionsmittelzufuhr und die Sekundärluftzufuhreinrichtung 12 passend zu den zugehörigen abgasreinigenden Komponenten 4 bis 7, 13 im Abgasstrang 3 an modifizierten Positionen angeordnet. Analog wie oben zum Ausführungsbeispiel von Fig. 2 wird nachfolgend nur auf diejenigen Maßnahmen und sich daraus ergebenden Wirkungen des Beispiels von Fig. 3 eingegangen, die gegenüber

denen der Beispiele der Fig. 1 und 2 unterschiedlich sind, während im übrigen bezüglich der übereinstimmenden Funktionen und Eigenschaften auf die obigen Ausführungen zu den Beispielen der Fig. 1 und 2 verwiesen werden kann.

Der im Beispiel von Fig. 3 direkt dem SCR-Katalysator 7 vorgeschaltete NO_x-Bildungskatalysator 13 erlaubt wiederum eine merkliche Effektivitätssteigerung des SCR-Katalysators 7 insbesondere im Temperaturbereich unterhalb von 300°C.

Zur Aufheizung des Partikelfilters 5 kann in diesem Fall die dem Oxidationskatalysator 4 vor dem Partikelfilter 5 vorgeschaltete Einrichtung 11 zur nachmotorischen Reduktionsmittelzufuhr genutzt werden. Der NO_x-Speicherkatalysator 6 und der SCR-Katalysator 7 werden bei dieser Anordnung durch diese Maßnahme nicht thermisch belastet. Eine ausschließliche Partikelfilteraufheizung durch nachmotorische Reduktionsmittelzufuhr wird nicht angestrebt, um keine übermäßige thermische Alterung des Oxidationskatalysators 4 zu verursachen. Die zugeführte Reduktionsmittelmenge wird u.a. abhängig von folgenden Parametern geregelt: angestrebte Temperatur des Partikelfilters 5, tatsächliche Abgastemperatur vor Oxidationskatalysator 4 bzw. nach SCR-Katalysator 7, tatsächliche Abgastemperatur nach Partikelfilter 5 und Abgasmassenstrom.

Vorteilhaft ist beim Beispiel von Fig. 3, dass neben dem NO_x-Speicherkatalysator 6 auch der SCR-Katalysator 7 durch seine Position hinter dem NO_x-Speicherkatalysator 6 nach einem Kaltstart relativ schnell die erforderliche Betriebstemperatur erreicht. Außerdem ist von Vorteil, dass kein zusätzlicher Oxidationskatalysator als letzte Systemkomponente erforderlich ist, um mittels Sekundärlufteinblasung die unerwünschten Abgaskomponenten zu oxidieren. Zudem ist bei diesem Ausführungsbeispiel der SCR-Katalysator 7 vor hohen Tempera-

turen bei der thermischen Regeneration des Partikelfilters 5 geschützt, indem er stromaufwärts des Partikelfilters 5 positioniert ist.

Der Partikelfilter 5 kann katalytisch beschichtet sein, wobei die katalytische Beschichtung derjenigen des vorgeschalteten Oxidationskatalysators 4 ähnlich sein kann, so dass letzterer kleiner oder mit geringerem Edelmetallgehalt ausgeführt werden kann, was zu Bauraum- bzw. Kostenvorteilen führt. Optional kann der dem Partikelfilter 5 vorgeschaltete Oxidationskatalysator auch ganz entfallen.

Der NO₂-Bildungskatalysator 13 kann, wie in Fig. 3 gezeigt, als separates Bauteil ausgeführt sein. Alternativ kann er am austrittsseitigen Ende des NO_x-Speicherkatalysators 6 oder am eintrittsseitigen Ende des SCR-Katalysators 7 in die betreffende Komponente integriert sein oder auch ganz entfallen. In nicht gezeigter Weise kann dem NO_x-Speicherkatalysator 6 ein weiterer Oxidationskatalysator vorgeschaltet sein, der insbesondere beim Kaltstart zu einer weiteren Verringerung der HC- und CO-Emissionen führen kann.

Fig. 4 zeigt eine weitere Variante, bei der die Abgasnachbehandlungseinrichtung einen kombinierten SCR- und Stickoxid-speicher-Katalysator 15 aufweist, der die Funktionen des NO_x-Speicherkatalysators 6 und des SCR-Katalysators 7 der Beispiele der Fig. 1 bis 3 vereint. Diesem integrierten Katalysator 15 und dem nachgeschalteten Partikelfilter 5 ist jeweils ein Oxidationskatalysator 4 direkt vorgeschaltet. Die übrigen Komponenten entsprechend den Beispielen der Fig. 1 bis 3 sind zur Position dieser abgasreinigenden Komponenten 4, 5, 15 passend angeordnet, wie gezeigt.

Der integrierte Katalysator 15 ist z.B. durch Verwendung eines SCR-Katalysators realisierbar, der als Vollextrudat hergestellt wird, wobei das katalytische Material des SCR-Katalysators als Träger für eine weitere katalytische Beschichtung dient, und zwar einer Stickoxidspeicher-Katalysatorbeschichtung. Alternativ ist es auch möglich, bei einem nicht als Vollextrudat hergestellten SCR-Katalysator zusätzlich zu der SCR-Beschichtung eine Stickoxidspeicher-Katalysatorbeschichtung aufzubringen. Vorteilhaft ist in jedem Fall, dass durch diese Maßnahme der Bauraumbedarf erheblich reduziert ist. Außerdem erreichen beide funktionelle Komponenten nach dem Kaltstart sehr schnell die erforderliche Betriebstemperatur, so dass nahezu keine zusätzlichen Heizmaßnahmen erforderlich sind, die eine Erhöhung des Kraftstoffverbrauchs zur Folge hätten.

Im regulären Magerbetrieb der Brennkraftmaschine 1 werden CO und HC am motornahen Oxidationskatalysator 4 zu CO_2 und H_2O oxidiert. Im integrierten Stickoxidspeicher- und SCR-Katalysator 15 wird ein wesentlicher Teil der im Abgas enthaltenden Stickoxide zwischengespeichert, ein übriger Teil durch dort zwischengespeicherten Ammoniak reduziert.

Die Zeitpunkte für NSK-Regenerationen werden im Beispiel von Fig. 4 mit Hilfe des NO_x -Sensors 9 hinter dem integrierten, kombinierten Katalysator 15 oder alternativ durch eine der anderen, oben genannten Methoden bestimmt. Die in der Steuerungseinheit 2 abgelegten Modelle umfassen in diesem Fall ein Modell über das Stickoxid-Speicherverhalten, das Ammoniakspeicherverhalten und das Ammoniakerzeugungsverhalten des kombinierten Katalysators 15.

Wichtiges Kriterium für die Betriebsparameter einer bevorstehenden NSK-Regeneration und gezielten Ammoniakerzeugung ist

im Beispiel von Fig. 3 die Temperatur des kombinierten Katalysators 15, wie sie durch den nachgeschalteten Temperatursensor 8 erfasst werden kann. Zusätzlich kann auch z.B. die modellbasiert ermittelte, aktuelle Ammoniakbeladung des kombinierten Katalysators 15 als weiteres Kriterium verwendet werden. Eine maximale NH₃-Bildung kann z.B. angestrebt werden, wenn die Temperatur des kombinierten Katalysators 15 innerhalb eines vorgegebenen Bereichs von beispielsweise zwischen 230°C und 370°C liegt und die aktuelle NH₃-Beladung desselben gering ist sowie ggf. weitere Bedingungen erfüllt sind.

Die vor dem motornahen Oxidationskatalysator 4 angeordnete Einrichtung 11 zur nachmotorischen Reduktionsmittelzufuhr kann dazu genutzt werden, den integrierten, kombinierten Katalysator 15 für eine Desulfatisierung der Stickoxidspeicher-Katalysatorbeschichtung aufzuheizen, ergänzt durch zusätzliche motorische Aufheizmaßnahmen, wie oben erläutert. Die zugeführte Reduktionsmittelmenge wird unter anderem abhängig von folgenden Parametern geregelt: angestrebte Temperatur des kombinierten Katalysators 15, tatsächliche Temperatur desselben und Abgasmassenstrom.

Zur Partikelfilteraufheizung kann der dem Partikelfilter 5 vorgeschaltete Oxidationskatalysator 4 und die diesem vorgesetzte Einrichtung 11 zur nachmotorischen Reduktionsmittelzufuhr genutzt werden. Der kombinierte Stickoxidspeicher- und SCR-Katalysator 15 bleibt bei dieser Anordnung wiederum thermisch von der Partikelfilteraufheizung unbelastet. Die zugeführte Reduktionsmittelmenge wird u.a. abhängig von folgenden Parametern geregelt: angestrebte Temperatur des Partikelfilters 5, tatsächliche Abgastemperatur vor dem Oxidationskatalysator 4, tatsächliche Abgastemperatur nach dem Partikelfilter 5 und Abgasmassenstrom.

Vorteilhaft ist beim Ausführungsbeispiel von Fig. 4, dass der kombinierte Stickoxidspeicher- und SCR-Katalysator 15 vor hohen Temperaturen bei der thermischen Regeneration des Partikelfilters 5 geschützt ist und kein zusätzlicher Oxidationskatalysator als letzte abgasreinigende Systemkomponente erforderlich ist, um bei Sekundärlufteinblasung die unerwünschten Abgaskomponenten zu oxidieren. Der Partikelfilter 5 kann katalytisch beschichtet sein, insbesondere mit einer derjenigen des vorgeschalteten Oxidationskatalysators 4 ähnlichen katalytischen Beschichtung. In diesem Fall kann der vorgeschaltete Oxidationskatalysator 4 kleiner oder mit geringerem Edelmetallgehalt ausgeführt werden, was zu entsprechenden Bauraum- bzw. Kostenvorteilen führt. Optional kann der dem Partikelfilter 5 vorgeschaltete Oxidationskatalysator 4 auch entfallen.

Die SCR-Katalysatorbeschichtung und die Stickoxidspeicher-Katalysatorbeschichtung können im kombinierten Katalysator 15 in geeigneter Weise vermischt auf einem Träger aufgebracht sein. Alternativ können die beiden Beschichtungen in Abgasströmungsrichtung wechselweise aufgebracht sein, so dass das Abgas zunächst einen Bereich mit Stickoxidspeicher-Katalysatorbeschichtung, dann einen Bereich mit SCR-Katalysatorbeschichtung, dann wieder einen Bereich mit Stickoxidspeicher-Katalysatorbeschichtung usw. durchströmt. Diese Ausführungsform kann auch dadurch realisiert werden, dass wechselweise Scheiben eines Stickoxidspeicher-Katalysators und Scheiben eines SCR-Katalysators hintereinander in einem Gehäuse angeordnet werden. Gegenüber einer Mischkombination beider Katalysatormaterialien hat die in Abgasströmungsrichtung mehrfach wechselnde Anordnung den Vorteil, dass sich ein erweitertes Temperaturfenster ergibt, in welchem das System effizient arbeitet. So machen sich Temperaturspitzen im vor-

deren Bereich des Systems bei mehrfach abwechselnder Anordnung von Stickoxidspeicher-Katalysator und SCR-Katalysator weniger stark beispielsweise bei der Ammoniakbildung bemerkbar als bei einer Anordnung mit einem Stickoxid-Speicher-katalysator und einem separat nachgeschalteten SCR-Katalysator.

Fig. 5 zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem die Brennkraftmaschine 1 einen zweiflutigen Abschnitt des Abgasstrangs 3 mit geeignet zugeordneter Abgasnachbehandlungseinrichtung aufweist. Letztere umfasst gleichartig und symmetrisch in beiden parallelen Strangabschnitten jeweils einen NO_x-Speicherkatalysator 6, einen NO₂-Bildungskatalysator 13 und einen SCR-Katalysator 7 nebst zugehöriger Sensorik 8, 9, 10 und Einrichtung 11 zur nachmotorischen Reduktionsmittelzufuhr an passenden Positionen entsprechend den Beispielen der Fig. 1 bis 4. Die beiden parallelen Abgasstränge sind stromabwärts der beiden SCR-Katalysatoren 7 zu einem anschließenden, einzelnen Strangabschnitt zusammengeführt, in welchem der Partikelfilter 5 nebst direkt vorgeschaltetem Oxidationskatalysator 4 sowie dazu passender Sensorik 8, 9, 14, Einrichtung 11 zur nachmotorischen Reduktionsmittelzufuhr und Sekundärluftzufuhreinrichtung 12 angeordnet sind, wie gezeigt.

Eine derartige zweiflutige Anordnung kann beispielsweise bei Motoren sinnvoll sein, deren Zylinder in V-Form angeordnet sind. Voraussetzung ist, dass bei Einsatz einer Abgasturboaufladung für jede Zylinderbank ein separater Turbolader verwendet wird, da andernfalls die beiden Fluten bereits vor der Turbine des Turboladers zusammengeführt werden müssen. Die Betriebsstrategie für dieses Abgasnachbehandlungssystem ist so ausgelegt, dass gegenüber der Betriebsweise eines einflutigen Systems nur geringe Modifikationen notwendig sind. Dies ist von Bedeutung, da andernfalls aufwendige Neuentwicklungen von zusätzlichen Funktionen in der Steuereinheit 2 der Brenn-

kraftmaschine 1 erforderlich wären. Zudem kann durch diesen Ansatz die Anzahl der verwendeten Sensoren und damit die Zunahme der Kosten für das Gesamtsystem begrenzt werden. Grundgedanke ist, die beiden parallelen Stränge wie einen einzigen Strang zu betrachten, so dass grundsätzlich in beiden Strängen die gleichen Vorgänge ablaufen. Dies ist nur möglich, wenn sich die beiden Stränge nicht grundsätzlich bezüglich Motor-Rohemission, Katalysator-Typen und Katalysator-Volumina usw. unterscheiden. Aufwändigeren Ansätze, wie z.B. vollkommen unabhängig voneinander betriebene Stränge und z.B. auch zeitlich versetzte Phasen mit fettem Abgas, so dass nach Zusammenführung der beiden Stränge stets mageres Abgas vorliegt, sind alternativ möglich.

Die Betriebsweise dieser zweiflutigen Anlage entspricht weitestgehend derjenigen der einflutigen Anlage von Fig. 3, bei der die abgasreinigenden Komponenten 4 bis 7 und 13 in gleicher Reihenfolge angeordnet sind, so dass hierzu auf die obigen Erläuterungen zu diesem Beispiel verwiesen werden kann. In den beiden parallelen Abgasstrangabschnitten laufen die entsprechenden Prozesse jeweils unabhängig bzw. parallel ab. Für die Steuerungseinheit 2 kann eine einfache Funktionsstruktur dadurch erhalten werden, dass im abgelegten Modell die jeweils parallel angeordneten, prinzipiell identischen Katalysatoren 6 bzw. 7 der beiden parallelen Abgasstrangabschnitte jeweils zu einem Katalysator mit doppeltem Volumen zusammengefasst werden. In einer vorteilhaften Implementierung kann für den Fall, dass Unterschiede zwischen den beiden Strangabschnitten hinsichtlich Anforderung einer NSK-Regeneration festgestellt werden, vorgesehen sein, eine NSK-Regeneration auch dann einzuleiten, wenn nur an einem der beiden NO_x-Speicherkatalysatoren 6 eine über den vorgegebenen Schwellwert hinausgehende NO_x-Emission detektiert wird. Alternativ können die Signale der NO_x-Sensoren 9 stromabwärts der NO_x-Speicherkatalysatoren 6 in einer gemittelten oder an-

dersartig gewichteten Weise als eine repräsentative Stickoxidkonzentration nach NO_x-Speicherkatalysator für das NSK-Modell in der Steuerungseinheit 2 verwendet werden.

Als Abbruchkriterium für NSK-Regenerationen kann im Fall einer angestrebten starken Ammoniakbildung ein Unterschreiten des zugehörigen Schwellwertes λ_1 durch eine der beiden Lamdasonden 10 stromabwärts der beiden parallelen NO_x-Speicherkatalysatoren 6 dienen. Wenn keine Ammoniakbildung angestrebt wird, wird die NSK-Regeneration z.B. sofort beendet, wenn das Luftverhältnis nach einem der beiden parallelen NO_x-Speicherkatalysatoren 6 den Schwellwert λ_2 unterschreitet.

Vorteilhaft ist beim Ausführungsbeispiel der Fig. 5, dass trotz deutlich abweichender Geometrie der Abgasanlage die Betriebsstrategie ähnlich derjenigen der einflutigen Anlage gemäß Fig. 3 bleibt und die zu dieser oben erläuterten Eigenschaften und Wirkungen in gleicher Weise erzielt werden, wobei keine nennenswerten zusätzlichen Funktionen für die Steuerungseinheit 2 bereitgestellt werden müssen.

Alternativ zum gezeigten Beispiel können die beiden parallelen Abgasstrangabschnitte auch bereits unmittelbar hinter den beiden parallelen NO_x-Speicherkatalysatoren 6 zu einem anschließenden einflutigen Strangabschnitt zusammengeführt werden, in welchem sich dann nur ein SCR-Katalysator 7 mit vorgeschaltetem optionalem NO₂-Bildungskatalysator 13 befindet. In weiteren alternativen Ausführungsformen ist der Einsatz integrierter Stickoxidspeicher- und SCR-Katalysatoren in jedem der mehreren Strangabschnitte entsprechend dem Beispiel von Fig. 4 und/oder eine andere Reihenfolge der abgasreinigenden Komponenten möglich, insbesondere entsprechend den Fig. 1, 2 und 4.

Während in den gezeigten Ausführungsbeispielen auf eine Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs Bezug genommen wird, versteht es sich, dass die erfindungsgemäße Abgasnachbehandlungseinrichtung und das erfindungsgemäße Abgasnachbehandlungsverfahren, wie sie anhand der gezeigten Beispiele oben verdeutlicht und erläutert wurden, auch für andere, beispielsweise stationäre Verbrennungseinrichtungen verwendbar sind, die ein zu reinigendes Abgas erzeugen.

- - - - -

DaimlerChrysler AG

Herr Boegner IPM/S EW/wi

Patentansprüche

1. Einrichtung zur Nachbehandlung eines von einer Verbrennungseinrichtung, insbesondere eines Kraftfahrzeug-Verbrennungsmotors, erzeugten Abgases, mit

- einem Stickoxidspeicherkatalyastor (6) und

- einem SCR-Katalysator (7) mit Ammoniak-Speicherfähigkeit, der stromabwärts des Stickoxidspeicherkatalysators oder mit diesem in einer gemeinsamen Katalysatoreinheit (15) integriert angeordnet ist,

gekennzeichnet durch

- einen Partikelfilter (5) stromaufwärts des Stickoxidspeicherkatalysators (6) oder zwischen dem Stickoxidspeicherkatalysator und dem SCR-Katalysator (7) oder stromabwärts des SCR-Katalysators und/oder

- einen NO₂-Bildungskatalysator (13) stromaufwärts des SCR-Katalysators (7).

2. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach Anspruch 1, weiter gekennzeichnet durch einen NO₂-Bildungskatalysator (13), dessen Katalysatormaterial bei fetter Abgaszusammensetzung im Abgas enthaltenen Ammoniak ohne Umsetzungsreaktion passieren lässt.

3. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, weiter gekennzeichnet durch einen ersten Oxidationskatalysator (4) als in Abgasströmungsrichtung erste Abgasnachbehandlungskomponente.

4. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, weiter gekennzeichnet durch einen zweiten Oxida-

tionskatalysator (4) als in Abgasströmungsrichtung letzte Abgasnachbehandlungskomponente.

5. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, weiter gekennzeichnet durch einen dem Partikelfilter (5) direkt vorgeschalteten Oxidationskatalysator (4).

6. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, weiter dadurch gekennzeichnet, dass der Stickoxidspeicherkatalysator und der SCR-Katalysator in einen gemeinsamen kombinierten Katalysator (15) integriert sind, der ein Stickoxid-Speicherkatalysatormaterial und ein SCR-Katalysatormaterial gemischt oder in Abgasströmungsrichtung abwechselnd enthält.

7. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, weiter gekennzeichnet durch Mittel (9) zur Erfassung des NO_x-Gehalts im Abgas stromabwärts des Stickoxid-speicherkatalysators (6) und/oder stromabwärts des SCR-Katalysators (7).

8. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, weiter gekennzeichnet durch Mittel (2, 9) zur Erfassung der Ammoniakbeladung des SCR-Katalysators und/oder des Ammoniakgehalts im Abgas stromabwärts des Stickoxidspeicherkatalysators und/oder des SCR-Katalysators.

9. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, weiter gekennzeichnet durch Mittel (8) zur Erfassung der Temperatur des Stickoxidspeicherkatalysators (6), des SCR-Katalysators (7) und/oder des Partikelfilters (5).

10. Abgasnachbehandlungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, weiter gekennzeichnet durch mehrere parallele stromaufwärtige Abgasstrangabschnitte, die zu einem anschließenden gemeinsamen, stromabwärtigen Strangabschnitt zusammengeführt sind, wobei der Partikelfilter (5) im stromabwärtigen

Strangabschnitt und je ein Stickoxidspeicherkatalysator (6) in jedem der parallelen stromaufwärtigen Strangabschnitte angeordnet sind.

11. Verfahren zur Nachbehandlung eines von einer Verbrennungseinrichtung, insbesondere eines Kraftfahrzeug-Verbrennungsmotors, erzeugten Abgases, bei dem

- im Abgas enthaltene Stickoxide in einem Stickoxidspeicherkatalysator während Adsorptionsbetriebsphasen desselben zwischengespeichert und während Regenerationsbetriebsphasen des Stickoxidspeicherkatalysators aus diesem wieder freigesetzt werden, wobei Ammoniak erzeugt wird, und

- erzeugter Ammoniak in einem nachgeschalteten SCR-Katalysator zwischengespeichert und zur Stickoxidreduktion verwendet wird,

dadurch gekennzeichnet, dass

- als Kriterium für den Zeitpunkt der Auslösung einer jeweiligen Regenerationsbetriebsphase für den Stickoxidspeicherkatalysator der erfasste Stickoxidgehalt des Abgases stromabwärts des SCR-Katalysators und/oder stromabwärts des Stickoxidspeicherkatalysators und/oder die Ammoniakbeladung des SCR-Katalysators herangezogen wird.

12. Verfahren zur Nachbehandlung eines von einer Verbrennungseinrichtung erzeugten Abgases, insbesondere nach Anspruch 11, bei dem

- im Abgas enthaltene Stickoxide in einem Stickoxidspeicherkatalysator während Adsorptionsbetriebsphasen desselben zwischengespeichert und während Regenerationsbetriebsphasen des Stickoxidspeicherkatalysators aus diesem wieder freigesetzt werden, wobei Ammoniak erzeugt wird, und

- erzeugter Ammoniak in einem nachgeschalteten SCR-Katalysator zwischengespeichert und zur Stickoxidreduktion verwendet wird,

dadurch gekennzeichnet, dass

- eine während einer jeweils anstehenden Regenerationsbetriebsphase des Stickoxidspeicherkatalysators zu erzeugende

Soll-Ammoniakerzeugungsmenge ermittelt und die anschließende Regenerationsbetriebsphase abhängig von der ermittelten Soll-Ammoniakerzeugungsmenge durchgeführt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, weiter dadurch gekennzeichnet, dass als Kriterium für die Beendigung einer jeweiligen Regenerationsbetriebsphase des Stickoxidspeicherkatalysators die Bedingung herangezogen wird, dass das erfasste Abgas-Luftverhältnis stromabwärts des Stickoxidspeicherkatalysators einen Schwellwert (λ_1, λ_2) unterschreitet, der abhängig von der Soll-Ammoniakerzeugungsmenge vorgegeben wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, weiter dadurch gekennzeichnet, dass während einer jeweiligen Regenerationsbetriebsphase des Stickoxidspeicherkatalysators die Verbrennungseinrichtung mager, insbesondere mit einem Luftverhältnis zwischen 1,0 und 1,2, betrieben und das Abgas-Luftverhältnis vor dem Stickoxidspeicherkatalysator durch Reduktionsmittelzufuhr zum Abgas in den fetten Bereich ($\lambda < 1$) abgesenkt wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, weiter dadurch gekennzeichnet, dass die Verbrennungseinrichtung während den Regenerationsbetriebsphasen des Stickoxidspeicher-katalysators zumindest zeitweise fett ($\lambda < 1$) betrieben und Sekundärluft zum Abgas stromaufwärts einer oder mehrerer der abgasnachbehandelnden Komponenten zugegeben wird.

- - - - -

DaimlerChrysler AG

Herr Boegner IPM/S EW/wi

Zusammenfassung

1. Abgasnachbehandlungseinrichtung und -verfahren.
 - 2.1. Die Erfindung bezieht sich auf eine Abgasnachbehandlungseinrichtung mit einem Stickoxidspeicherkatalysator und einem SCR-Katalysator und auf ein zugehöriges Abgasnachbehandlungsverfahren.
 - 2.2. Erfindungsgemäß ist ein Partikelfilter stromaufwärts des Stickoxidspeicherkatalysators oder zwischen diesem und dem SCR-Katalysator oder stromabwärts des SCR-Katalysators und/oder ein NO_x-Bildungskatalysator stromaufwärts des SCR-Katalysators vorgesehen. Der Zeitpunkt von Regenerationsbetriebsphasen des Stickoxidspeicherkatalysators kann abhängig vom Stickoxidgehalt des Abgases stromabwärts des Stickoxidspeicherkatalysators oder des SCR-Katalysators und/oder von dessen Ammoniakbeladung bestimmt werden. Außerdem kann für eine jeweilige Regenerationsbetriebsphase eine Soll-Ammoniakerzeugungsmenge ermittelt werden.
 - 2.3. Verwendung z.B. für vorwiegend mager betriebene Kraftfahrzeug-Verbrennungsmotoren.
- - - - -

Fig. 1

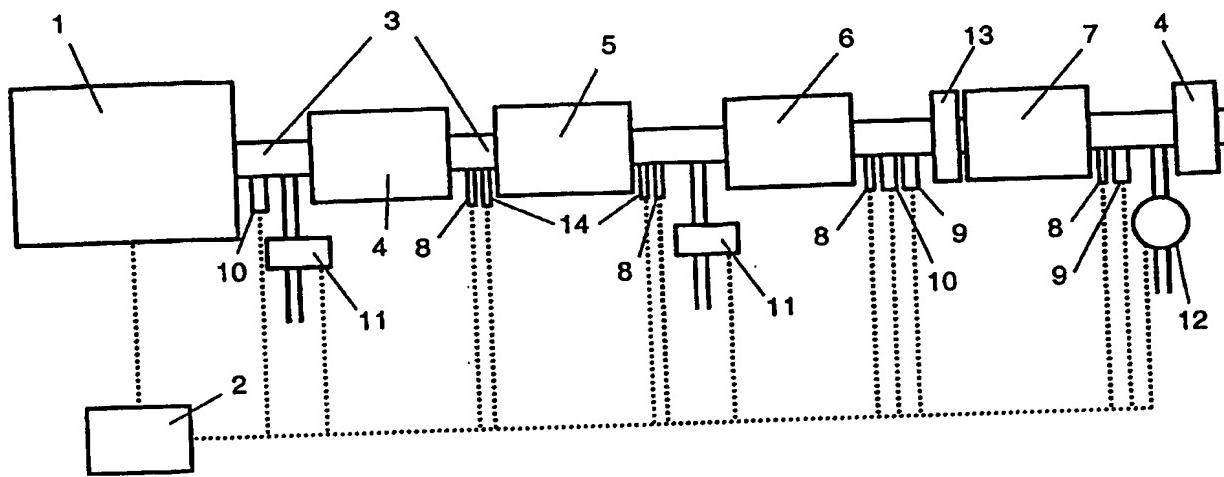


Fig. 2

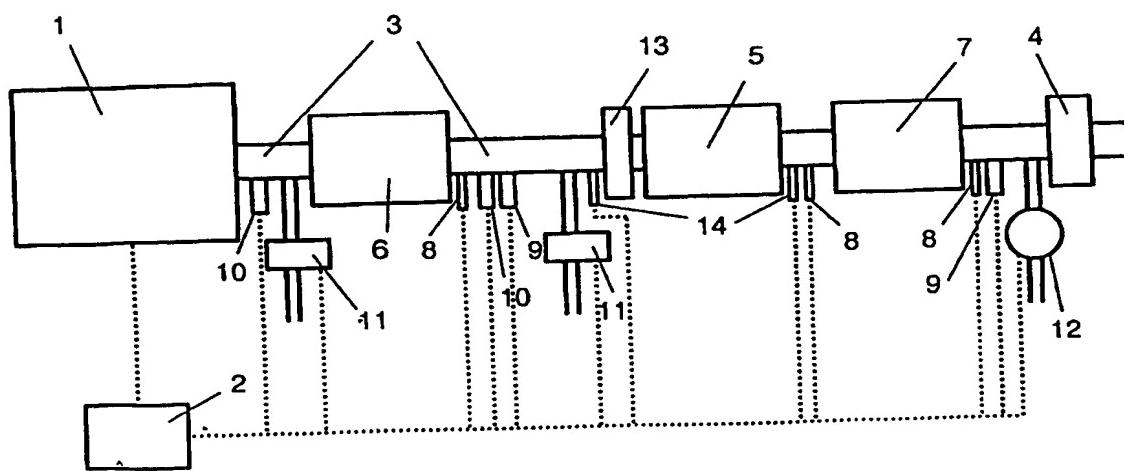


Fig. 3

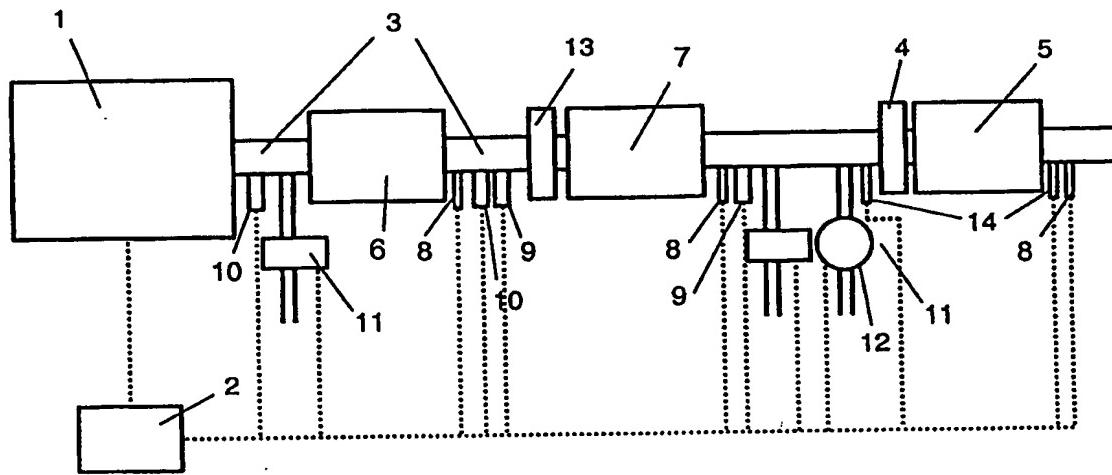


Fig. 4

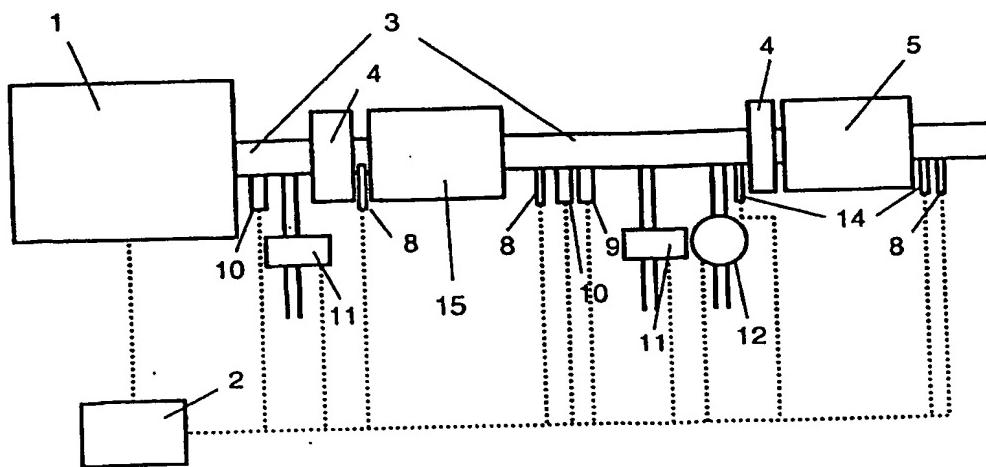


Fig. 5

